

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Studie použitelnosti robotického svařování

Study of Usability of Robotic Welding

Student:

Michal Demel

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2018

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání bakalářské práce

Student:

Michal Demel

Studijní program:

B2341 Strojírenství

Studijní obor:

2303R002 Strojírenská technologie

Téma:

Studie použitelnosti robotického svařování
Study of Usability of Robotic Welding

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te analýzu současného stavu výroby vybraných svařenců.
2. Navrhněte robotického pracoviště.
3. Navrhněte technologické postupy pro ruční a robotizované svařování vybraných součástí.
4. Vyhodno'te efektivitu robotizovaného svařování.
5. Proved'te diskusi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
KOLÍBAL, Zdeněk. *Průmyslové roboty I : Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů*. 1. vyd. Brno : VUT Brno, 1993. 189 s. ISBN 80-214-0526-0.
AMBROŽ, O. *Technologie svařování*. 1. vyd. Ostrava: ZERROS, 2005.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018


Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry




doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Mistopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.


V Ostravě: 21.5.2018


.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že bibliografické údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 21.5.2018


.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Michal Demel

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Albrechtičky 198, 742 55

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

DEMEL, M. *Studie použitelnosti robotického svařování: bakalářská práce*. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra Mechanické technologie 2018, 55 s. Vedoucí práce: Ochodek, V.

Bakalářská práce se zabývá možností použití robotického svařování. Konkrétněji se jedná o nahrazení ručního a poloautomatického svařování vybraných svařenců svařováním průmyslovým robotem. V úvodní části práce jsou charakterizovány součásti vyráběné technologií svařování a posouzení jejich vhodnosti pro robotické svařování. V dalších částech je řešen návrh robotizovaného pracoviště a technologické postupy výroby současného a robotizovaného svařování svařenců. Na závěr práce je zhodnocena efektivita robotizovaného pracoviště a ekonomická návratnost investice.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

DEMEL M. *Study of Usability of Robotic Welding: Bachelor Thesis*. Ostrava : VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Deptment of Mechanical Technology, 2018, 55 p. Thesis head: Ochodek, V.

The bachelor thesis deals with possibilities of using robotic welding. More specifically, it is the replacement of manual and semi-automatic welding of selected weldments by industrial robot welding. The introductory part of the thesis describes the components produced by welding technologies and the assessment of their suitability for robotic welding. In other parts, the design of the robotized workplace and the technological processes of the production of the current and robotized welding of weldments are solved. At the end of the thesis, the efficiency of the robotized workplace and the economic return on investment are evaluated.

OBSAH

Seznam použitých značek a symbolů	7
1 ÚVOD	8
2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY SVAŘENCŮ	9
2.1 Charakteristika svařovaných součástí	9
2.2 Charakteristika metody svařování 135 (MAG).....	16
2.3 Charakteristika metody svařování automatem pod tavidlem (121).....	18
3 NÁVRH ROBOTICKÉHO SVAŘOVACÍHO PRACOVIŠTĚ	20
3.1 Popis částí robotického pracoviště.....	22
3.2 Bezpečnost.....	25
3.3 Typy vhodných robotů.....	26
3.4 Náklady na pořízení robotizovaného pracoviště	27
3.5 Schéma návrhu robotického pracoviště	28
4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY	29
4.1 Stávající technologický postup výroby trubky nárazníku	29
4.2 Stávající technologický postup výroby krytu vložky	33
4.3 Stávající technologický postup výroby koše nárazníku s vodítky	35
4.4 Návrh technologického postupu pro robotizované svařování vnitřního svaru trubky nárazníku	37
4.5 Návrh technologického postupu pro robotizované svařování krytu vložky	38
4.6 Návrh technologického postupu robotizovaného svařování koše nárazníku s vodítky	39
5 VYHODNOCENÍ EFEKTIVITY ROBOTIZOVANÉHO SVAŘOVÁNÍ.....	40
5.1 Porovnání technologických časů operací svařování.....	40
5.2 Výhody robotického pracoviště	41
5.3 Nevýhody robotického pracoviště.....	42
5.4 Návratnost investice	42
6 DISKUSE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ	44
7 ZÁVĚR	45
Seznam použité literatury	46
Poděkování.....	49
SEZNAM PŘÍLOH.....	50

Seznam použitých značek a symbolů

<u>Značka</u>	<u>Význam</u>	<u>Jednotka</u>
JÚS	jednouúčelový svařovací stroj	
MAG	obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu	
PA	poloha svařování – vodorovná shora	
PB	poloha svařování – vodorovná šikmo shora	
PLC	programovatelný logický automat	
R_{eH}	smluvní mez kluzu materiálu	[MPa]
R_m	mez pevnosti materiálu	[MPa]
TCP	střed středu nástroje (tool center point)	
121	svařování pod tavidlem drátovou elektrodou	
135	obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu	

1 ÚVOD

Společnost MSV Metal Studénka, a.s. navrhla zadání bakalářské práce zabývající se možností použitelnosti svařovacího robota pro vyráběné svařence. Jedná se o svařence, které jsou součástí železničních nákladních a osobních vozů, především o nárazníky a díly podvozků železničních vozů. Náhrada ručního svařování robotickým svařováním se jeví v dnešní době jako velmi naléhavá. Kvalifikovaní, zkušení a zruční svářeči se shánějí stále obtížněji. Náklady na mzdu kvalitních svářečů rostou. Pro rozhodnutí o zavedení robotického svařování je třeba provést analýzu současného stavu vyráběných svařenců a vyhodnotit efektivitu navrženého robotizovaného pracoviště.

Společnost MSV Metal Studénka, a.s. je v oblasti výroby výkovků a komponentů pro kolejová vozidla přímým pokračovatelem Vagonky Studénka, která byla založená v roce 1900. Vybrané svařence se v současnosti ve společnosti MSV Metal Studénka, a.s. svařují ručně, nebo na starších jednoúčelových svařovacích poloautomatech. Jedná se o výrobu sériově vyráběných dílů v počtu řádově stovek až tisíců kusů ročně [1].

Obecně lze říci, že zavedení robotického svařování do výroby přináší technologické i ekonomické výhody a na popularitě získává hlavně díky mnoha výhodám oproti lidské síle. Pomocí svařovacích průmyslových robotů je možné automatizovat produkci velkých i malých sérií výrobků. Svařovací roboty jsou velmi rychlé, hospodárné a díky přesnému naprogramování jsou schopny zaručit bezchybnou a opakovatelnou vysokou kvalitu svarů. Pracovníka bychom měli nahradit robotem všude, kde se jedná o monotónní práci, nebo práci ve škodlivém prostředí. Nasazení svařovacích robotů řeší problém nedostatku kvalifikovaných svářečů. Robotické svařování má však také nevýhody. Mezi nejvýznamnější lze zařadit vysokou pořizovací cenu a nepříjemné jsou také změny na výrobcích, které zasahují do programu svařování [2].

Vývoj svařovacích robotů a automatů šel během minulého století velmi rychle kupředu. Došlo k vyššímu stupni propojení s počítačovou technikou, což přineslo dokonalejší řízení robotů. Dále došlo také k vyvinutí podstatně lepší úrovně senzorů, systémů pro navádění robotů, systémů pro zpracování obrazu i možnosti dálkového monitorování procesů [2] [3].

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO STAVU VÝROBY SVAŘENCŮ

Výroba nárazníků a dílů podvozků železničních vozů zahrnuje svařování rozměrově malých a tvarově jednoduchých podsestav. V současné době se vybrané svařence svařují především metodou MAG (135) a metodou svařování automatem pod tavidlem (121). Metoda svařování MAG (135) je blíže popsána v kapitole 2.2 a metoda svařování automatem pod tavidlem (121) v kapitole 2.3. Svařování jednotlivých podsestav probíhá ve svařovacích boxech a na jednoúčelových svařovacích pracovištích. Výrobní operace jednotlivých dílů na sebe prostorově ani časově příliš nenavazují. Bedny s díly se na dané pracoviště přesouvají pomocí jeřábu. Ve většině případů se na jednom pracovišti provádí jen jedna svařovací operace. Svařování provádí kvalifikovaný svářeč ručně, nebo svařování probíhá na jednoúčelovém svařovacím stroji (JÚS). Na většině svářečských pracovištích probíhá výroba ve dvou směnách.

2.1 Charakteristika svařovaných součástí

Pro posouzení vhodnosti pro robotické svařování je třeba znát základní informace o svařovaných součástech. Důležité jsou údaje o používané metodě svařování, zavedeném stupni mechanizace svařování, průměru a jakosti přídavného svařovacího materiálu, typu svarového spoje, délce svaru, počtu svarových spojů na svařenci, počtu vrstev, poloze svařování, hmotnosti svařence, rozměru svařence a další specifické údaje, jako např. nutnost použití přehřevu při svařování. Jednotlivé díly svařenců se vyrábějí převážně z materiálu o jakosti S355J2 a S235JR. Materiálové listy jsou přiloženy jako příloha A a příloha B. Polotovarem jsou buď plechy, výlisky nebo výkovky. Výlisky a výkovky si vyrábí firma sama. Společnou charakteristikou posuzovaných svařenců je svařování v základních polohách PA a PB. Seznam a popis vyráběných svařenců je uveden v tabulce 1. a tabulce 2.

P.č.	Název svařence	Metoda svařování	Způsob svařování	Průměr svař.drátu [mm]	Přídavný svařovací materiál	Svarový spoj	Délka svaru [mm]
1.	Kryt nárazníku	135	ruční	1,2	OK AristoRod 12.50	1 II	140
2.	Trubka nárazníku - vnitřní svar	135	ruční	1,2	OK AristoRod 12.50	4 Y	440
3.	Trubka nárazníku - vnější svar	121	jednoučelový svař.automat	4,0	OK Autrod 12.20	8 II	440
4.	Koš nárazníku	121	jednoučelový svař.automat	2,0	OK Autrod 12.20	12 V	660
5.	Těleso nárazníku	121	jednoučelový svař.automat	3,0	OK Autrod 12.20	a5 koutový	720
6.	Štítek k trubce nárazníku	135	ruční	1,2	OK AristoRod 12.50	a2 koutový	340
7.	Vedení koše	135	ruční	1,2	OK AristoRod 12.50	7 půl Y	100
8.	Botka zdrže - můstek	135	ruční	1,2	OK AristoRod 12.50	a4 koutový	10
9.	Botka zdrže - vedení	135	ruční	1,2	OK AristoRod 12.50	5 půl Y	47
10.	Botka zdrže - čep	135	ruční	1,2	OK AristoRod 12.50	8 děrový	8
11.	Vodící trn	135	ruční	1,2	OK AristoRod 12.50	8 Y	60

Tabulka 1 - Seznam a popis svařenců

Pro výběr vhodných svařenců pro robotické svařování je třeba svařence analyzovat z pohledu počtu ročně vyráběných kusů, z pohledu výrobní tolerance jednotlivých dílů vstupujících do svařování, přesnosti přípravy svarových hran, pohybu svařence v průběhu svařování, nutnosti natáčení svařence pro zajištění přístupu k jednotlivým svarům, stehování před svařováním, zda stehování a svařování probíhá v přípravku. Důležitým údajem je i rozměr a hmotnost svařence, vhodnost metody svařování pro robotizované pracoviště, specifické požadavky na svařence v průběhu svařování, jako například přehřev. Analýza je uvedena v tabulce 3 a v tabulce 4. Součástí tabulek je i posouzení

vhodnosti svařence pro robotické svařování a závěrečné zdůvodnění vhodnosti či nevhodnosti svařence pro robotické svařování.

P.č	Název svařence	Počet svarů	Počet vrstev	Poloha svařování	Hmotnost svařence [kg]	Rozměry svařence [mm]	Poznámky
1.	Kryt nárazníku	1	1	PA	0,5	50x110x125	-
2.	Trubka nárazníku - vnitřní svar	1	1	PA	24,1	pr.240x440	-
3.	Trubka nárazníku - vnější svar	1	1	PA	24,1	pr.240x440	-
4.	Koš nárazníku	1	1	PA	40,5	250x350x490	-
5.	Těleso nárazníku	1	1	PA	57,5	340x450x450	-
6.	Štítek k trubce nárazníku	4	1	PB	24,1	pr.240x440	svařování bude nahrazeno nýtováním
7.	Vedení koše	4	2	PA	38,1	250x350x480	-
8.	Botka zdrže - můstek	2	1	PB	7,7	76x130x300	svařování s předehřevem
9.	Botka zdrže - vedení	2	1	PA	7,7	76x130x300	-
10.	Botka zdrže - čep	4	1	PA	7,7	76x130x300	svařování s předehřevem
11.	Vodící trn	1	2	PA	7,5	pr.184x433	svařování s předehřevem

Tabulka 2 - Seznam a popis svařenců

P.č.	SVAŘENEC	POSUZOVANÝ PARAMETR SVAŘENCE							
		A)	B)	C)	D)	E)	F)	G)	H)
1.	Kryt nárazníku	20 000	+/-0,5	+/-0,5	ne	ne	ano	ano	ne
2.	Trubka nárazníku - vnitřní svar	10 000	+/-1,0	+/-0,5	ne	ne	ne	ne	ano
3.	Trubka nárazníku - vnější svar	10 000	+/-1,0	+/-1,0	ne	ne	ano	ano	ano
4.	Koš nárazníku	10 000	+/-1,0	+/-0,5	ano	ne	ne	ne	ano
5.	Těleso nárazníku	10 000	+/-1,0	+/-0,5	ano	ne	ne	ne	ano
6.	Štítek k trubce nárazníku	10 000	+/-0,5	+/-0,5	ne	ano	ano	ano	ne
7.	Vedení koše	10 000	+/-0,5	+/-0,5	ne	ano	ano	ano	ano
8.	Botka zdrže - můstek	8 000	+/-1,0	+/-1,0	ne	ne	ne	ne	ano
9.	Botka zdrže - vedení	8 000	+/-1,0	+/-1,0	ne	ne	ano	ano	ne
10.	Botka zdrže - čep	8 000	+/-1,0	+/-1,0	ne	ne	ne	ne	ano
11.	Vodící trn	400	+/-0,5	+/-0,5	ne	ne	ne	ne	ano
A) Počet ročně vyráběných kusů B) Výrobní tolerance dílů vstupujících do svařování [mm] C) Přesnost přípravy svarové hrany [mm] D) Pohyb svařence při svařování (plynulé automatizované otáčení svařence) E) Nutnost ručního natáčení svařence pro přístup k jednotlivým svarům F) Svařenec je před svařováním nastehován G) Svařenec je nastehován pomocí přípravku H) Svařenec je svařován v přípravku									

Tabulka 3 - Posouzení svařenců z hlediska vhodnosti pro robotické svařování

P.č.	SVAŘENEC	POSUZOVANÝ PARAMETR SVAŘENCE				
		I)	J)	K)	L)	M)
1.	Kryt nárazníku	ano	ano	-	VHODNÝ	-
2.	Trubka nárazníku - vnitřní svar	ano	ano	-	VHODNÝ	-
3.	Trubka nárazníku - vnější svar	ano	ne	-	NEVHODNÝ	metoda svařování 121
4.	Koš nárazníku	ano	ne	-	NEVHODNÝ	metoda svařování 121
5.	Těleso nárazníku	ano	ne	-	NEVHODNÝ	metoda svařování 121
6.	Štítek k trubce nárazníku	ano	ano	-	NEVHODNÝ	svařování bude nahrazeno nýtováním
7.	Vedení koše	ano	ano	-	VHODNÝ	-
8.	Botka zdrže - můstek	ano	ano	předehřev	NEVHODNÝ	předehřev; malá přesnost výroby svarových ploch (jedná se výkovek)
9.	Botka zdrže - vedení	ano	ano	-	NEVHODNÝ	malá přesnost výroby svarových ploch (jedná se výkovek)
10.	Botka zdrže - čep	ano	ano	předehřev	NEVHODNÝ	předehřev; malá přesnost výroby svarových ploch (jedná se výkovek)
11.	Vodící trn	ano	ano	-	NEVHODNÝ	malý počet vyráběných kusů
I) Rozměry a hmotnost svařence jsou vhodné pro robotické svařování J) Metoda svařování je vhodná pro robotické svařování K) Specifický požadavek v průběhu svařování L) Posouzení vhodnosti svařence pro robotické svařování M) Zdůvodnění vhodnosti či nevhodnosti svařence pro robotické svařování						

Tabulka 4 - Posouzení svařenců z hlediska vhodnosti pro robotické svařování

Z vyráběných svařenců byly vybrány pro navrhované robotizované pracoviště tři svařence. Jejich seznam a počet ročně vyráběných kusů je uveden v tabulce 5.

P.č.	SVAŘENCE VYBRANÉ PRO ROBOTIZOVANÉ SVAŘOVÁNÍ	POČET ROČNĚ VYRÁBĚNÝCH DÍLŮ
1.	Kryt vložky	20 000 ks
2.	Trubka nárazníku	10 000 ks
3.	Koš nárazníku s vodítky	10 000 ks

Tabulka 5 - Vybrané svařence pro robotizované svařování

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny vybrané díly vhodné pro robotizované svařování.



Obrázek 1 - Kryt vložky



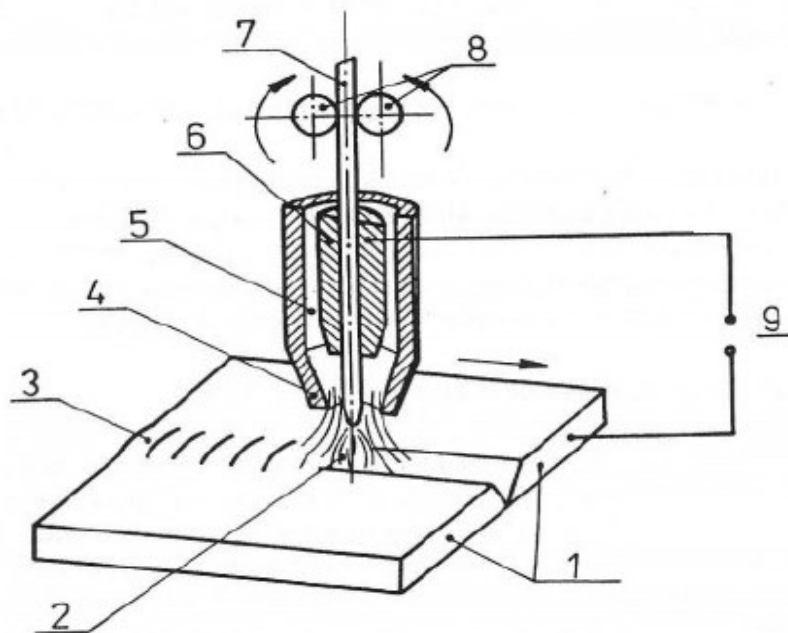
Obrázek 2 - Vnitřní svar trubky nárazníku



Obrázek 3 - Koš nárazníku s vodítky

2.2 Charakteristika metody svařování 135 (MAG)

Hlavní metodou svařování vybraných svařenců je metoda svařování v ochranné atmosféře aktivního plynu, tedy metoda 135 (MAG). Tato metoda patří v celosvětovém měřítku k nejrozšířenějším metodám pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí. Mezi hlavní důvody rozšíření této metody patří snadná možnost mechanizace a robotizace, široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení, ale také její významné technologické výhody a charakteristiky [4].



Obrázek 4 - Princip svařování MAG (135) (1 - základní materiál, 2 - elektrický oblouk, 3 - svar, 4 - plynová hubice, 5 - přívod ochranného plynu, 6 - proudová tryska, 7 - přídavný drát, podávací kladky, 9 - zdroj proudu) [4]

Metoda MAG (135) je založená na hoření elektrického oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základním materiálem v ochranné atmosféře aktivního plynu. Na obrázku 4 je zobrazeno schéma této metody. Svařovací drát odvíjející se z cívky je třecím kontaktem v ústí hořáku napájen elektrickým proudem tak, aby elektricky zatížená délka drátu byla co nejkratší. Okolo svařovacího drátu a svarové lázně proudí ochranný plyn, který chrání svarovou lázeň před přístupem okolní atmosféry a zároveň napomáhá zapálení a stabilizaci elektrického oblouku. Největší výhodou u metod svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře je poloautomatický režim podávání svařovacího drátu. To svářeči umožňuje lépe kontrolovat svarovou lázeň, snadněji tvořit housenku svaru a hlavně se v porovnání s ručním svařováním obalenou elektrodou omezí časté přestávky na výměnu elektrod [4].

Přídavný materiál pro svařování ocelí je legován mnoha prvky v závislosti na požadavcích výsledných vlastností svaru a chemického složení základního materiálu. Vedle železa, které tvoří největší objem, obsahuje přídavný materiál uhlík, mangan, křemík, fosfor, titan, zirkon, nikl, molybden, chrom, vanad a další. Pro metodu MAG (135) se používají přídavné materiály ve formě plného drátu. Na obrázku 5 je vidět svar proveden touto metodou.

Jako ochranný plyn se pro tuto metodu používají nejčastěji vícesložkové směsné plyny se základem argonu s oxidem uhličitým.

Technologické výhody:

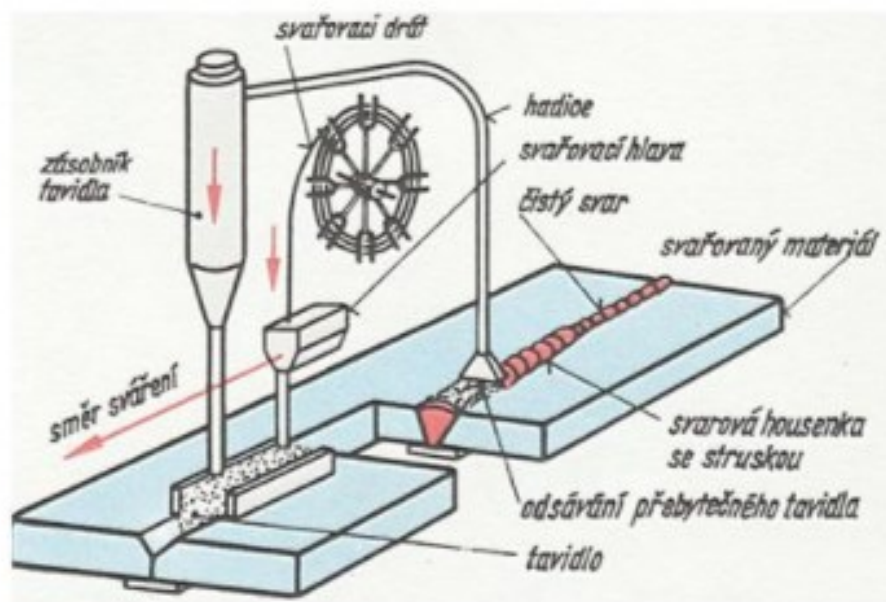
- | | |
|----------------------------------|------------------------------|
| - minimální tvorba strusky, | - vysoká efektivita, |
| - snadný start oblouku, | - velmi dobrý profil svaru, |
| - malá tepelně ovlivněná oblast, | - vysoká proudová hustota, |
| - vysoký výkon odtavení, | - snadná robotizace [4] [5]. |



Obrázek 5 - Vnitřní svar trubky proveden metodou 135 (MAG)

2.3 Charakteristika metody svařování automatem pod tavidlem (121)

Touto metodou se momentálně svařují vnější svary trubek, a obvodové svary tělesa a koše nárazníku. Svary vytvořené technologií svařování pod tavidlem jsou velmi spolehlivé a kvalitní. To také vedlo k jejímu rychlému rozšíření a rozvoji. Elektrický oblouk hoří mezi elektrodou ve formě holého drátu a základním materiálem pod ochrannou vrstvou tavidla, které se přivádí před elektrodu. Při svařování tavidlo kryje oblouk a chrání tak svářeče před zářením. Schéma metody je zobrazeno na obrázku 6. Tavidlo také dodává do svaru legující prvky, stabilizuje oblouk, chrání svarový kov a podporuje dosažení vyšší teploty. Dále z tavidla vzniká struska, která svar chrání a zabraňuje jeho rychlému ochlazování. Svařování pod tavidlem může být poloautomatické, nebo plně automatické. Na obrázku 7 je vidět svar proveden touto metodou [4] [6].



Obrázek 6 - Metoda svařování automatem pod tavidlem [7]

Tato metoda svařování má řadu výhod, kterými jsou:

- vysoká produktivita svařování (až 5x vyšší oproti svařování obalenou elektrodou),
- velký průvar do základního materiálu,
- vysoká proudová hustota i při použití svařovacích drátů malých průměrů,
- zvýšená kvalita a spolehlivost svaru,
- snadná opakovatelnost svaru se stejnou kvalitou.

Naopak, mezi nevýhody této metody patří:

- vyšší nároky na přípravu a čistotu svarových ploch,
- svařovací proces je zakrytý, proto se obtížně kontroluje,
- svařování je možné pouze v polohách PA a PB podle ČSN EN ISO 6947,
- je nutná manipulace s tavidlem [4].



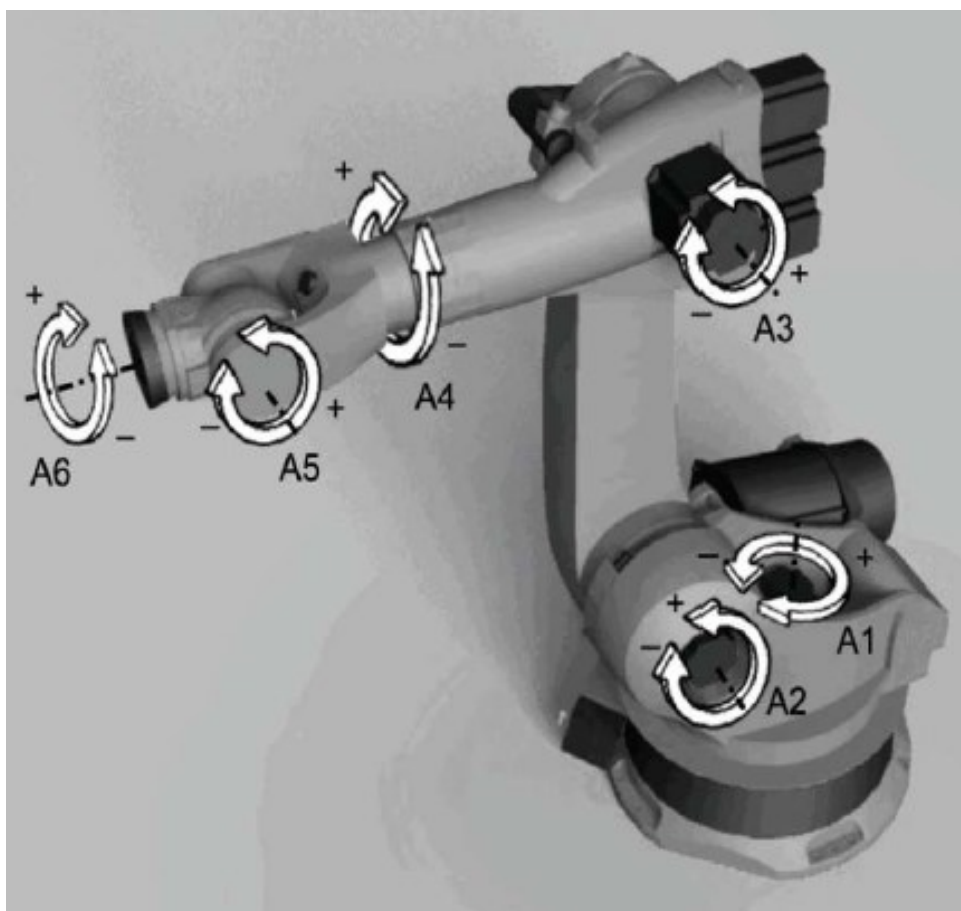
Obrázek 7 - Vnější svar trubky proveden metodou 121

3 NÁVRH ROBOTICKÉHO SVAŘOVACÍHO PRACOVISTĚ

V minulém století se projevil moderní trend v průmyslové výrobě spolu s novými poznatky vědy a techniky, který kladl značné požadavky na novou techniku. Tyto požadavky vedly technology, konstruktéry a další odpovědné pracovníky k myšlence postupné robotizace a automatizace.

Strojírenský průmysl umožňuje krýt nárůst těchto požadavků hlavně růstem produktivity práce, z čehož vyplývá, že nejdůležitějším zdrojem zvyšování technické úrovně a efektivity je především zdokonalování technologických a výrobních postupů a konstrukcí, které zaručí v relativně krátkém čase zajišťovat inovační proces a zvyšovat výrobu.

Jde o proces postupného nahrazování lidského faktoru mechanickými a automatizačními přístroji, jejichž práci zabezpečuje lidský činitel. Eliminací lidského faktoru dojde k úspoře materiálu, strojního času a dalších prvků, které vedou ke snižování nákladů [8] [9].



Obrázek 8 - Osy pohyblivosti robota [10]

Svařovací roboty jsou automatické, univerzální, programované manipulační zařízení, představující výkonnou a přesnou svařovací techniku. Pomocí těchto strojů je možné vytvořit obtížně přístupné, přesné a tvarově složité svary, které by jinak nebylo možné provést. Pro nastavování polohy a orientace nástroje podle požadavků příslušné technologické operace musí být robotům umožněno nastavení polohy a orientace nástroje. Toho docílíme pomocí ramen a kloubů robota. Průmyslové roboty mívají většinou šest stupňů volnosti. Pro dosažení libovolného bodu v prostoru jsou potřeba tři stupně volnosti pro polohování a pro libovolnou orientaci nástroje další tři. Poloha jednotlivých os robota je znázorněna na obrázku 8. V současnosti jsou roboty řízeny pomocí elektrických pohonů, které se kombinují s vedlejšími, převážně pneumatickými pomocnými pohony.

Části robotů jsou závislé na použité metodě svařování. U obloukových metod svařování musí být navíc zařízení na podávání drátu. Dále např. u laserového svařování je nutná optika a další specifické zařízení, bez kterých by způsob svařování nebyl proveditelný. Důležitou pracovní částí svařovacího robota je technologická hlavice. Její konstrukce musí umožňovat dobrý přístup do místa svaru [4] [10].

3.1 Popis částí robotického pracoviště

3.1.1 Průmyslový svařovací robot

Na svařovacím pracovišti se nachází jeden svařovací robot, který je řízen pomocí řídicího systému. Roboty jsou vysoce přesné zařízení, které své naprogramované dráhy pohybu svařují s opakovanou velmi vysokou přesností. To znamená, že místo svařování musí být také s opakovatelnou přesností stále na stejném místě. Proto je opakovaně stejná rozměrová přesnost jednotlivých dílů při svařování robotem klíčová [10].

3.1.2 Řídicí systém

PLC řídicí systém (programovatelný logický automat) je poměrně malý průmyslový počítač využívaný pro automatizaci procesů. Charakteristické pro PLC je vykonávání procesů v cyklicky se opakujících smyčkách [11].

3.1.3 Ovládací panel

Pomocí ovládacího panelu operátor ovládá celé pracoviště, aniž by potřeboval znát použité programovací jazyky. Používá se pro ovládání robota v prostoru a zapsání dráhy, kterou bude robot vykovávat v automatickém režimu. Panel je vybaven dotykovou obrazovkou upravenou pro použití v průmyslu. Použitý software umožňuje pohodlné ovládání a zobrazení stavu důležitých signálů [12].

3.1.4 Otočný stůl

Na pracovišti se nachází dva otočné stoly. Oba stoly jsou polohovadla se dvěma pracovními stanovišti. Stoly budou osázeny přípravky, do kterých se budou zakládat díly ke svařování. Jedno pracoviště bude určeno ke svařování vnitřního svaru trubek, a po výměně přípravku i ke svařování košů s vodítky. Pracovní stůl a přípravek umožní současné upnutí tří trubek pro provedení vnitřního svaru. Koš nárazníku s vodítky bude možné upnout na pracoviště pouze jedenkrát. Druhé pracoviště je určeno pouze pro svařování krytů vodítek. Na stůl určený pro svařování krytů se do přípravku založí šest kusů krytů současně.

3.1.5 Jednotka pro čištění hořáku, zastřihávání drátu a kalibraci

Při svařovacím procesu vzniká nežádoucí jev, tzv. „rozstřík“. Proto pokud nedochází k pravidelnému čištění hořáku, může to mít za následek špatnou kvalitu svaru. Z tohoto důvodu bývají robotizovaná pracoviště pro svařování vybavena čistící jednotkou hořáku,

zařízením pro zastřihávání drátu a zařízením pro kalibraci TCP (tool center point), která je zobrazena na obrázku 9. Čistící jednotka umožňuje především vyčistit vnitřní prostor hubice. Dále také zastříhnout konec svařovacího drátu na požadovanou pracovní délku a separační kapalinou (nepřilnavou směsí) ochránit koncové části hořáku [12].



Obrázek 9 - Jednotka na čištění hořáku, zastřihávání drátu a kalibraci [13]

Při průběhu svařování se postupně zanáší vnitřní prostor plynové hubice. Pokud by se tedy hubice nečistila, mohlo by dojít vlivem vodivých nečistot k elektrickému propojení kontaktní špičky s plynovou hubicí. Došlo by k elektrickému zkratu, který zpravidla elektricky poškodí řídicí jednotku svařovacího robota. Proto vždy po několika svarech najede robot k této jednotce, kde se provede automatická údržba. Robot je poté opět připraven svařovat [10] [12].

3.1.6 Navádění průmyslového robota

Svařovací drát je speciálním mechanismem dočasně upevněn ve svařovacím hořáku. Automaticky se uvolní kladky podavače drátu, aby nedošlo k deformaci drátu ve vedení při pohybu robota. Tím se vytvoří potřebná volnost pohybu drátu při samotném vyhledávání. Drát na správnou délku zastříhne zastřihávač drátu, který se typicky umísťuje na čistící jednotce. Tímto postupem je dosaženo vždy stejných podmínek pro vyhledávání [14].

3.1.7 Svařovací zdroj

Je to elektrické zařízení, které se používá pro generování svařovacího proudu při svařování obloukovými metodami, nebo při odporovém svařování. Na svařovací zdroj je kladena celá řada požadavků, které jsou velmi důležité pro bezproblémové svařování. Mezi tyto požadavky lze uvést regulaci elektrického proudu a napětí, zapálení a stabilní hoření elektrického oblouku, stálost výkonu, dostatečná účinnost a zatěžovatel, odolnost při vzniku krátkodobých zkratů [4].

3.1.8 Bezpečnostní prvky

Kolizní senzor

Používán pro zvýšení bezpečnosti. Při nechtěném kontaktu hořáku s překážkou změní senzor logickou hodnotu svého výstupního signálu. Tuto změnu vyhodnotí řídicí systém jako chybový stav a okamžitě zastaví všechny pohony [10].

Optická závora

Další bezpečnostní prvek pracoviště chrání obsluhu před zraněním. Závora je přímo zapojena do ochranného okruhu pracoviště. V čase otáčení stolu musí být okruh uzavřen. V případě, že dojde k jejímu přerušení, okamžitě dojde k zapnutí brzdy a odpojení silové části. Pro uvolnění brzdy a opětovné spuštění otáčení stolu je třeba potvrdit tlačítkem potvrzení [10].

Tlačítko potvrzení

Po založení všech dílů do přípravku stiskne obsluha tlačítko potvrzení. Nachází-li se mimo závoru, a pokud robot dokončil svařování a najel do výchozí polohy, dojde k otočení stolu do pozice k robotu.

Tlačítko nouzového stopu

Toto tlačítko je normované. V případě nebezpečí jej obsluha stiskne, dojde k zapnutí brzdy a odpojení silové části a veškeré pohyblivé části se okamžitě zastaví [10].

Svařovací zástěna

Pracoviště je ohraničeno ochrannými svařovacími zástěnami. Ty chrání obsluhu a pracovníky na hale před škodlivým zářením. Dále také rozdělují pracovní prostor svařovacího pracoviště od zbývajících částí haly [10].

3.2 Bezpečnost

Automatizace a robotizace výroby nejen, že zvyšuje produktivitu výroby, ale také zvyšuje riziko zranění obsluhy. Proto je bezpečnost svařovacích robotů velmi důležitá. V dnešní době legislativa jasně definuje soubor požadavků, kterými se výrobci strojních zařízení musí řídit. Základním principem je, že výrobce smí na trh EU uvést pouze to zařízení, které je bezpečné. Hlavními podmínkami pro bezpečnou práci na každém robotizovaném pracovišti je především splnění následujících podmínek:

- všechny nebezpečné pohyby robota se provádějí za dostatečně vysokou a robustní mechanickou zábranou,
- robot nesmí obsluhu a okolní pracovníky oslňovat svařovacím obloukem,
- robot nesmí mít možnost v žádném případě narazit do obsluhy,
- při použití otočných polohovadel, musí být každé polohovadlo chráněno proti nežádoucímu vstupu bezpečnostními prvky, které splňují potřebné normy,
- veškeré bezpečnostní prvky musí splňovat platné normy [10] [15].

3.3 Typy vhodných robotů

Typ robota	Panasonic TAWERS TM-2000	FANUC Arc Mate 120	MOTOMAN MA2010
Počet ovladatelných os	6	6	6
Max. dosah [mm]	2011	2009	2010
Přesnost [mm]	+/- 0,08	+/- 0,08	+/- 0,08
Hmotnost [kg]	217	250	280

Tabulka 6 - Typy vhodných robotů [16][17][18]



Obrázek 10 - Panasonic TAWERS TM-2000[16] Obrázek 11 - FANUC Arc Mate 120[17]



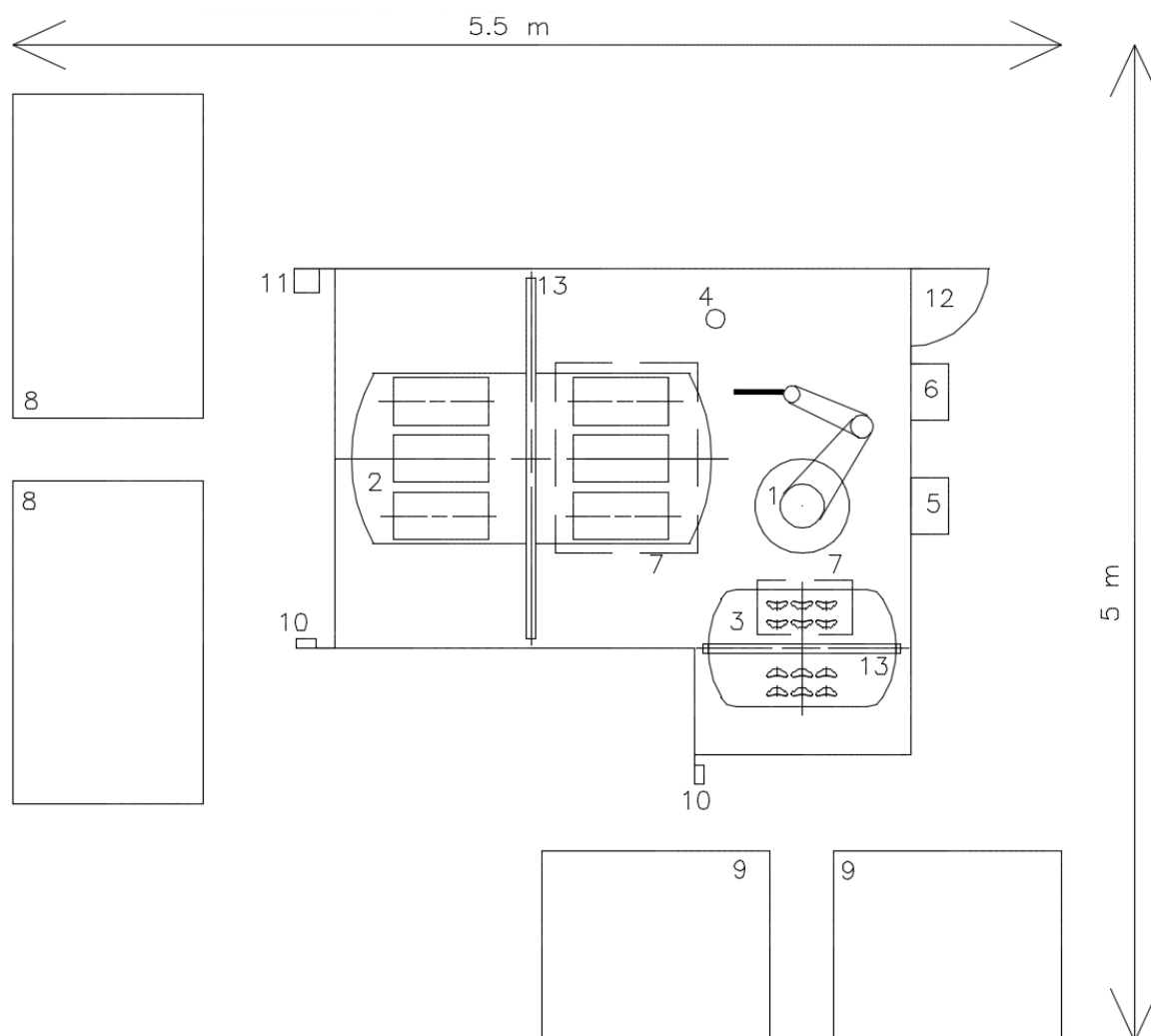
Obrázek 12 - MOTOMAN MA2010 [18]

3.4 Náklady na pořízení robotizovaného pracoviště

P.č.	Položka	Kč
1	Průmyslový svařovací robot, svařovací hlavice robota, řídicí jednotka, svařovací hořák, podávач drátu, přívod ochranného plynu, uzemnění, propojovací kabely, atd.	1 850 000
2	Sada základních náhradních dílů pro okamžitou opravu robota, (svařovací špičky, bowdeny, difuzory, atd.)	40 000
3	Základový rám pro stabilní ustavení robota	230 000
4	Systém navádění svařovacího hořáku	260 000
5	Svařovací zdroj pro robotické svařování	340 000
6	Nadřazený řídicí systém (PLC) (řídí činnost svařovacího robota, svařovacího zdroje, polohovadel, bezpečnostních prvků v průběhu svařovacích programů i mimo něj)	580 000
7	Otočné stoly a polohovadla	320 000
8	Jednotka pro čištění hořáku, zastřihávání drátu a kalibraci polohy svařovacího hořáku	60 000
9	Bezpečnostní prvky, závory, zástěny, oplocení, vstupy, atd.	460 000
10	Systém odsávání svářečských dýmů	490 000
11	Sady přípravků pro ustavení a svařování jednotlivých svařenců	850 000
12	Projekce, PLC program, programy pro svařování, systémové nastavení, montáž, oživení, odladění, přejímka, zaškolení obsluhy, atd.	550 000
13	Sloupový manipulátor	290 000
14	Příprava výrobní haly na nové pracoviště (přemístění stávajících strojů a zařízení, pracoviště, vyrovnání podlahy, přívody energií, atd.)	180 000
	CELKEM	6 500 000

Tabulka 7 - Náklady na pořízení robotizovaného pracoviště

3.5 Schéma návrhu robotického pracoviště



Obrázek 103 - Návrh robotického pracoviště (1 - svařovací robot, 2 - otočný stůl pro svařování trubek, 3 - otočný stůl pro svařování krytů, 4 - stanice čištění hořáku, zastříhnutí drátu a kalibraci, 5 - svařovací zdroj, 6 - řídicí jednotka, 7 - odsávač svařovacího dýmu-na náčrtu čárkovaně, 8 - bedny na trubky, 9 - bedny na kryty, 10 - ovládací panel, 11 - manipulátor, 12 - nouzový vchod k robotu, 13 - svařovací zástěna)

4 TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY

4.1 Stávající technologický postup výroby trubky nárazníku

Trubka nárazníku se svařuje v několika na sebe navazujících operacích, a na několika pracovištích. Při výrobě trubek je použito metody MAG (135) a metody svařování pod tavidlem (121). Trubka je vyrobena z plechu, který se nejprve nastříhá, pak skruží a následně nastehuje a svaří. Svařování vnitřního svaru trubky se provádí metodou MAG (135) a svařuje se v ochranné atmosféře směsného plynu ve složení 100% CO₂. Přídavný svařovací materiál je OK AristoRod 12.50, o průměru 1,2 mm. Vnější svar se svařuje metodou 121. Stehování se provádí ručně, další svařování probíhá na speciálních jednoúčelových automatech. Svařování provádí kvalifikovaný svářečský operátor. Na obrázku 14 je schéma současného svařovacího pracoviště JÚS, který svařuje vnitřní svar trubek metodou MAG (135). Jednoúčelový svařovací automat je zobrazen na obrázku 18.

Postup výroby trubky:

1. Nastříhání polotovaru trubky z tabule plechu.
2. Stočení trubky na lise.
3. Ustavení a nastehování trubky ve stehovacím přípravku metodou MAG (135).
4. Hoblování vnitřní drážky trubky.
5. Ustavení trubky v jednoúčelovém svařovacím automatu a svařování vnitřního svaru trubky metodou MAG. Svařovací parametry: 270-290 A, 28-30 V.
6. Kontrola vnitřního svaru.
7. Ustavení v jednoúčelovém svařovacím automatu a svařování vnějšího svaru trubky metodou autorem pod tavidlem (121).
8. Kontrola provedeného svaru.

Podrobnější postup svařování vnitřního svaru trubky.

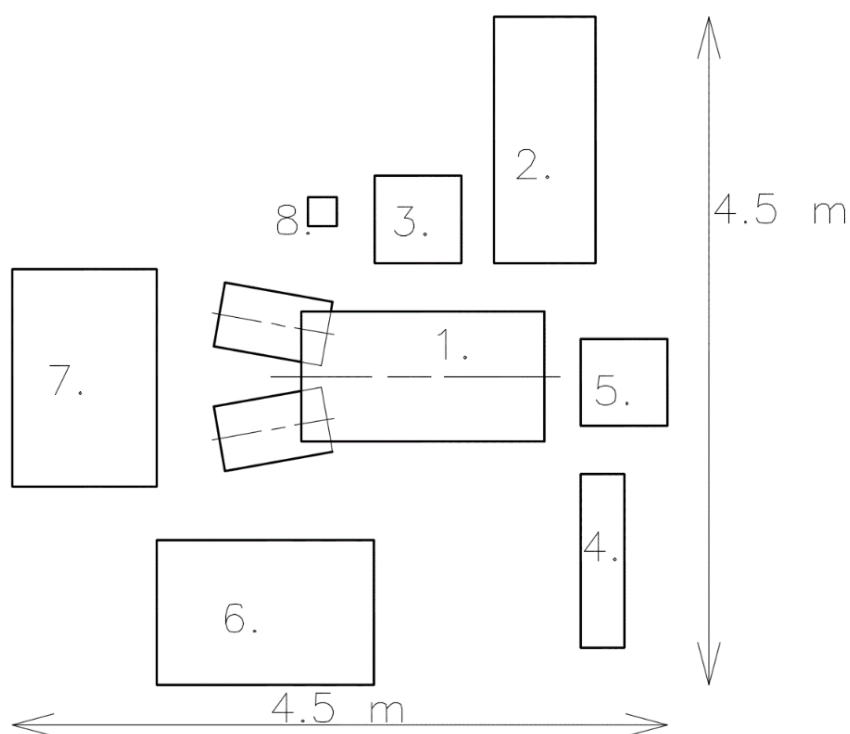
Svařování vnitřního svaru trubky probíhá na jednoúčelovém svařovacím automatu, kde jsou dvě svařovací místa. Na jednom se svařuje a na druhém probíhá v překrytém čase příprava trubky ke svařování.

Podrobný postup operace svařování vnitřního svaru trubky je následující:

1. Uchopení a vložení trubky do přípravku č.1.
2. Ustavení a natočení trubky.
3. Přiložení nájezdové a výjezdové destičky.

4. Upnutí trubky v přípravku (pneumaticky).
5. Přesun svařovacího ramene na začátek svařování.
6. Svařování vnitřního svaru trubky v přípravku č.1.
7. Uchopení a vložení trubky do přípravku č.2.
8. Ustavení a natočení trubky.
9. Přiložení nájezdové a výjezdové destičky.
10. Upnutí trubky v přípravku (pneumaticky).
11. Vyjetí hořáku z trubky.
12. Přesun svařovacího ramene na začátek svařování.
13. Svařování vnitřního svaru trubky v přípravku č.2.
14. Uvolnění trubky v přípravku č.1.
15. Odstranění nájezdové a výjezdové destičky.
16. Kontrola vnitřního svaru trubky.
17. Vyražení značky svářeče.
18. Odložení trubky do bedny.

Celkový čas pro operace svařování vnitřního svaru trubky nárazníku na jednoúčelovém svařovacím automatu je 2,43 minut.



Obrázek 114 - Schéma současného svařovacího pracoviště pro svařování trubek (1- svařovací automat, 2 – svařovací zdroj, 3 – hydraulika, 4 – elektrický rozvaděč, 5 – odsávač svařovacích dýmů, 6 – bedna na výkovky, 7 – bedna s výkovky, 8 manipulátor)

Na následujících obrázcích jsou zobrazeny trubky z výroby.



Obrázek 125 - Stočené trubky



Obrázek 136 - Trubka ve stehovacím přípravku



Obrázek 147 - Nastehovaná trubka



Obrázek 18 - Jednúčelový svařovací automat pro metodu MAG (135)

4.2 Stávající technologický postup výroby krytu vložky

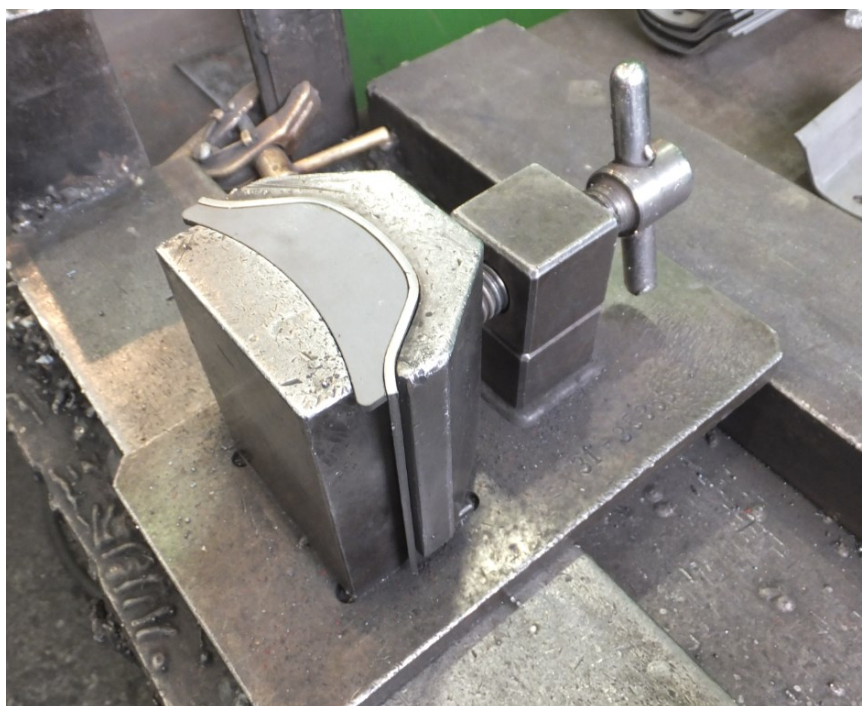
Svařování krytu vložky probíhá v jedné svařovací operaci, na jednom pracovišti. Svařování provádí kvalifikovaný svářeč ručně metodou 135 (MAG). Svařuje se v ochranné atmosféře směsného plynu ve složení 82% Ar 18% CO₂. Přídavný materiál ve formě drátu OK AristoRod 12.50 o průměru 1,2 mm.

Podrobný postup operace svařování krytu vložky:

1. Uchopení a vložení dílů do přípravku.
2. Ustavení a ruční upnutí dílů v přípravku, vyfoceno na obrázku 16.
3. Stehování dílů v přípravku.
4. Vyražení značky svářeče.
5. Uvolnění přípravku a vyjmutí nastehovaného sestavy z přípravku.
6. Svařování. Svařovací parametry: 180-200 A, 20-22 V.
7. Očištění svařence od rozstříku.
8. Kontrola svaru.
9. Odložení svařeného kusu.

Celkový čas pro operaci ručního svařování krytu je nyní 3,41 minut.

Na následujících obrázcích 19, 20 a 21 je zobrazen kryt vložky během výroby.



Obrázek 19 - Přípravek pro stehování krytu vložky



Obrázek 20 - Nastehovaný kryt vložky nárazníku



Obrázek 21 - Svařený kryt vložky nárazníku

4.3 Stávající technologický postup výroby koše nárazníku s vodítky

Svařování koše nárazníku s vodítky probíhá na jednom pracovišti. Svařování provádí kvalifikovaný svářeč ručně metodou 135 (MAG). Svařuje se v ochranné atmosféře směsného plynu ve složení 82% Ar 18% CO₂. Přídavný materiál ve formě drátu OK AristoRod 12.50 o průměru 1,2 mm. Svařovací parametry: 260-280 A, 28-30 V.

Podrobný postup operace svařování koše nárazníku s vodítky:

1. Uchopení a vložení trubky koše do přípravku.
2. Ustavení trubky v přípravku.
3. Natočení a aretace trubky v přípravku do požadované polohy.
4. Vložení vodítek do přípravku a sklopení vodítek k trubce pomocí přípravku.
5. Stehování obou vodítek k trubce koše.
6. Odklopení přípravku pro ustavování vodítek, odepnutí trubky z přípravku.
7. Natočení svařence do požadované polohy svařování.
8. Svařování 1.svaru 1.vodítka.
9. Natočení svařence do požadované polohy svařování.
10. Svařování 1.svaru 2.vodítka.
11. Přejítí svářeče na druhou stranu přípravku.
12. Natočení svařence do požadované polohy svařování.
13. Svařování 2.svaru 1.vodítka.
14. Natočení svařence do požadované polohy svařování.
15. Svařování 2.svaru 2.vodítka.
16. Očištění svařence od rozstříku.
17. Kontrola svarů.
18. Vyražení značky svářeče.
19. Odložení svařence do bedny.

Celkový čas pro operaci ručního svařování krytu je nyní 6,77 minut.

Na obrázcích 22 a 23 jsou zobrazeny koše nárazníku s vodítky v průběhu výroby.



Obrázek 22 - Koš nárazníku s vodítky v přípravku



Obrázek 23 - Koš nárazníku s vodítky

4.4 Návrh technologického postupu pro robotizované svařování vnitřního svaru trubky nárazníku

Do přípravku na otočném stole se zakládají tři trubky nárazníku vedle sebe. Na druhé polovině stolu jsou rovněž uloženy tři trubky. Zatímco na jedné polovině stolu robot svařuje, na druhé polovině stolu svářečský operátor připravuje ke svařování další tři trubky.

Pro svařování robotem bude použitý stejný přídatný svařovací materiál OK AristoRod 12.50 o průměru 1,2 mm. Svařovací drát bude ve velkokapacitním kontejneru. Pro svařování bude robotické pracoviště vybaveno ochrannou atmosférou směsného plynu ve složení 82% Ar 18% CO₂.

Návrh technologického postupu operace robotického svařování vnitřních svarů trubek je následující:

1. Uchopení a vložení tří trubek do přípravku.
2. Ustavení a natočení trubek v přípravcích.
3. Přiložení nájezdové a výjezdové destičky.
4. Upnutí trubek v přípravcích (pneumaticky).
5. Vystoupení operátora z optické závory.
6. Otočení stolu ke svařovacímu robotu.
7. Najetí svařovacího hořáku robota do pracovní polohy.
8. Kontrola polohy dílů hořákem robota.
9. Svařování vnitřních svarů trubek.
10. V průběhu svařování na druhé polovině stolu operátor připravuje pro svařování další tři trubky.
11. Odjetí hořáku svařovacího robota z pracovní polohy.
12. Automatické očištění hubice hořáku, zastřižení a kalibrace svařovacího drátu a ošetření hořáku separační kapalinou proti rozstříku.
13. Otočení stolu od svařovacího robota (po zmáčknutí tlačítka potvrzení).
14. Uvolnění svařených trubek z přípravků.
15. Odstranění nájezdových a výjezdových destiček.
16. Kontrola vnitřních svarů trubek.
17. Vyražení značek svářeče.
18. Odložení trubek do bedny mezi hotové díly.

Celkový čas pro operace robotického svařování vnitřního svaru trubky nárazníku je 1,57 minut.

4.5 Návrh technologického postupu pro robotizované svařování krytu vložky

Do přípravků na otočném stole operátor ustaví celkem šest krytů vložek vedle sebe. Na druhé polovině stolu zatím svařovací robot svařuje dalších šest kusů krytů vložek.

Pro svařování robotem bude použitý stejný přídatný svařovací materiál OK AristoRod 12.50 o průměru 1,2 mm. Svařovací drát bude ve velkokapacitním kontejneru. Pro svařování bude robotické pracoviště vybaveno ochrannou atmosférou směsného plynu ve složení 82% Ar 18% CO₂.

Návrh technologického postupu operace robotického svařování krytů vložek:

1. Uchopení a vložení šesti kusů krytů a čel do přípravku.
2. Ustavení dílů v přípravcích.
3. Upnutí dílů v přípravcích (pneumaticky).
4. Vyražení značek svářeče.
5. Vystoupení operátora z optické závory.
6. Otočení stolu ke svařovacímu robotu.
7. Najetí svařovacího hořáku robota do pracovní polohy.
8. Kontrola polohy dílů hořákem robota.
9. Svařování krytů.
10. V průběhu svařování na druhé polovině stolu operátor připravuje pro svařování dalších šest krytů vložky.
11. Odjetí hořáku svařovacího robota z pracovní polohy.
12. Automatické očištění hubice hořáku, zastřížení a kalibrace svařovacího drátu a ošetření hořáku separační kapalinou proti rozstříku.
13. Otočení stolu od svařovacího robota (po zmáčknutí tlačítka potvrzení).
14. Uvolnění svařených krytů vložek z přípravku.
15. Kontrola svarů krytů vložek.
16. Vyražení značek svářeče.
17. Odložení krytů vložek do bedny mezi hotové díly.

Celkový čas pro operaci robotického svařování jednoho kusu krytu vložky je 1,32 minut.

4.6 Návrh technologického postupu robotizovaného svařování koše nárazníku s vodítky

Do přípravku na otočném stole se zakládá jen jeden koš nárazníku a dvě vodítka. Na druhé polovině stolu je uložen rovněž jen jeden svařenec. Zatímco na jedné polovině stolu robot svařuje, na druhé polovině stolu svářečský operátor připravuje ke svařování další sestavu.

Pro svařování robotem bude použitý stejný přídatný svařovací materiál OK AristoRod 12.50 o průměru 1,2 mm. Svařovací drát bude ve velkokapacitním kontejneru. Pro svařování bude robotické pracoviště vybaveno ochrannou atmosférou směsného plynu ve složení 82% Ar 18% CO₂.

Návrh technologického postupu operace robotického svařování koše nárazníku s dvěma vodítky:

1. Uchopení a vložení trubky do přípravku.
2. Ustavení a natočení trubky v přípravku.
3. Aretace trubky v přípravku (pneumaticky).
4. Přiložení vodítek k trubce pomocí přípravků.
5. Upnutí vodítek.
6. Vystoupení operátora z optické závory.
7. Otočení stolu ke svařovacímu robotu.
8. Najetí svařovacího hořáku robota do pracovní polohy.
9. Kontrola polohy dílů hořákem robota.
10. Svařování – postupné svařování vodítek s automatickým natáčením trubky do požadované polohy (celkem 4 svary, každý svar na 2 vrstvy).
11. V průběhu svařování na druhé polovině stolu operátor připravuje pro svařování další koš nárazníku s vodítky.
12. Odjetí hořáku svařovacího robota z pracovní polohy.
13. Automatické očištění hubice hořáku, zastřižení a kalibrace svařovacího drátu a ošetření hořáku separační kapalinou proti rozstříku.
14. Otočení stolu od svařovacího robota (po zmáčknutí tlačítka potvrzení).
15. Uvolnění svařence z přípravku.
16. Kontrola svarů vodítek s ručním natáčením.
17. Vyražení značky svářeče.
18. Odložení koše nárazníku do bedny mezi hotové díly.

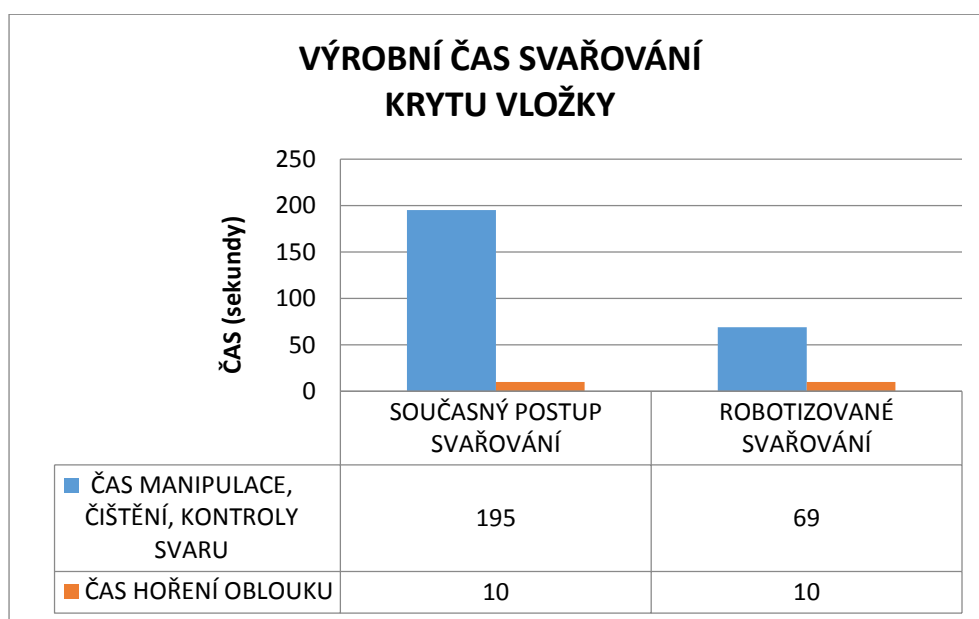
Celkový čas pro operace robotického svařování koše nárazníku s vodítky je 4,54 minut.

5 VYHODNOCENÍ EFEKTIVITY ROBOTIZOVANÉHO SVAŘOVÁNÍ

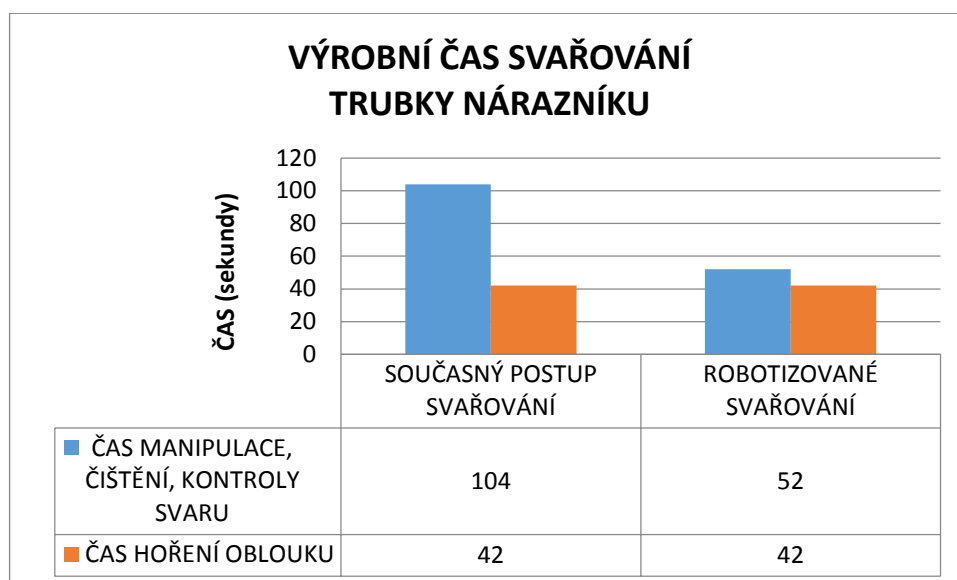
5.1 Porovnání technologických časů operací svařování

Z technologických postupů u všech tří vybraných dílů je patrné, že ruční svařování je časově náročnější, než je tomu u robotického svařování. Robotické svařování spolu s rychlejším upínáním dílů podstatně zkracuje neproduktivní časy. Rozdíl v časové náročnosti obou postupů je zřejmý i v následujících grafech.

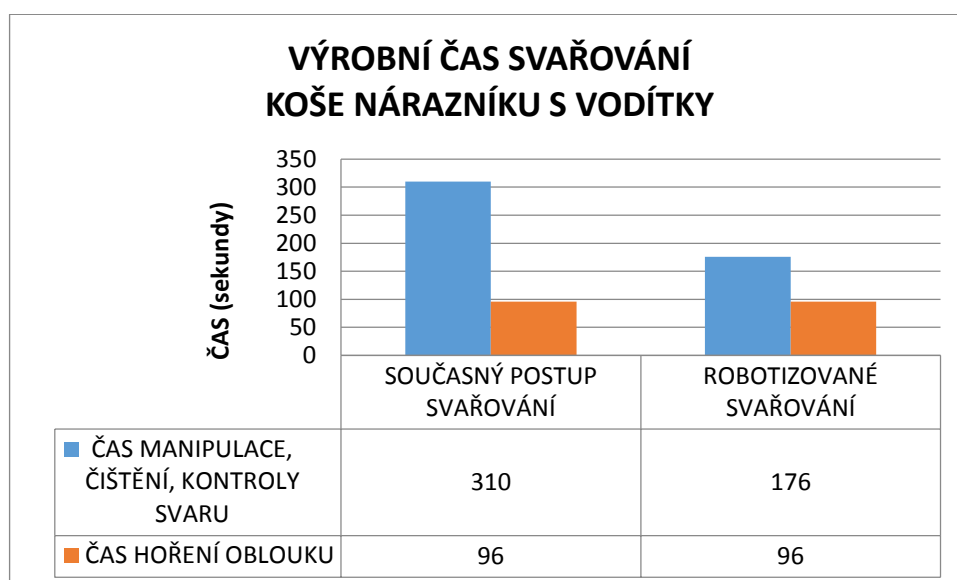
Kratších časů v operacích svařování se dosáhlo upínáním a manipulací s větším počtem dílů, zkrácením upínacích časů, rychlejším najížděním svařovacího hořáku do pracovní polohy, přípravou ke svařování a čištěním svařovacího hořáku svářečem. Přitom čas hoření oblouku zůstal stejný při obou způsobech svařování, ručním i robotickém. Poměr času hoření oblouku a zbývajících času operace svařování je znázorněn na následujících obrázcích.



Obrázek 24 - Výrobní čas svařování krytu vložky



Obrázek 25 - Výrobní čas svařování trubky nárazníku



Obrázek 26 - Výrobní čas svařování koše nárazníku s vodítky

5.2 Výhody robotického pracoviště

Výhodou robotizovaného svařování je vyšší poměr času hoření svařovacího oblouku oproti časům doprovodných prací, které svářeč musí vykonat. Aby bylo dosaženo co nejvyššího čistého času hoření oblouku, je nutné vybavit robotizované pracoviště alespoň dvěma pracovními místy. Zatím co bude svařovací robot na jednom pracovišti svařovat, bude operátor na druhém pracovišti připravovat na svařování další dílce.

Další výhodou je opakovatelná kvalita svaru a snížení počtu oprav a zmetkovitosti svarových spojů [19].

5.3 Nevýhody robotického pracoviště

Velkou nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady robotizovaného svařovacího pracoviště. Nepříjemné mohou být i případné změny na výrobku, které zasáhnou do programu svařování. Úpravy programů jsou časově i finančně nákladné.

5.4 Návrh investice

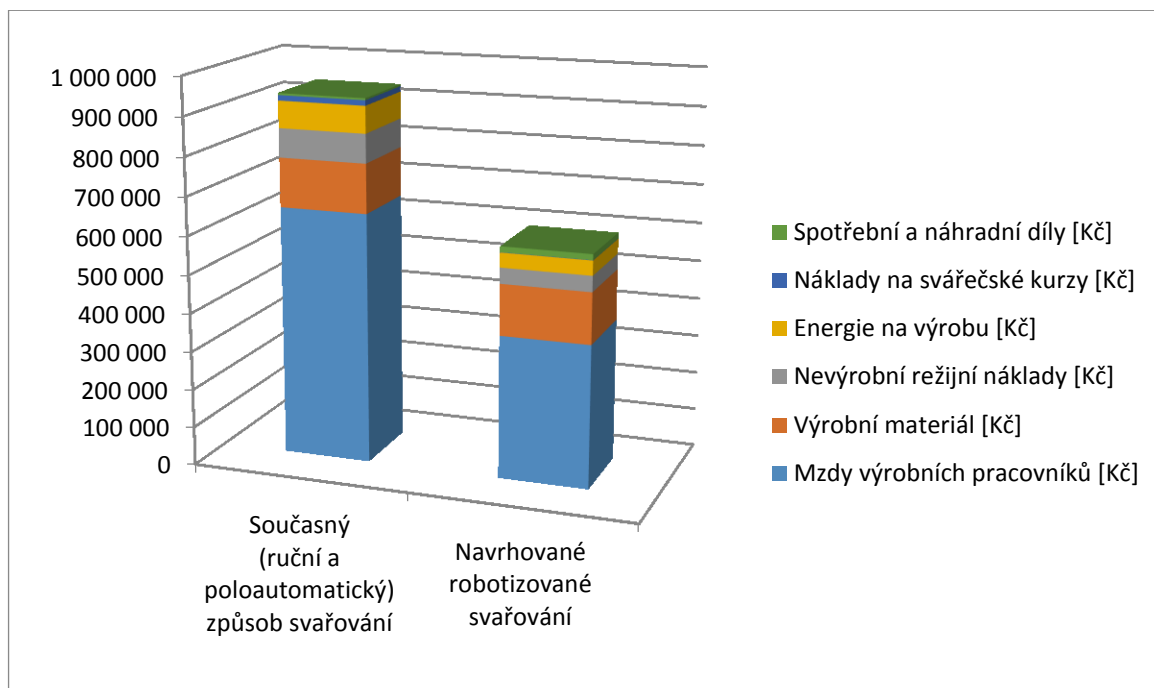
Pořízení robotického pracoviště představuje nemalé pořizovací náklady. Z tohoto důvodu je důležité správné posouzení návratnosti vložených finančních prostředků. Toto posouzení je pro zavedení robotického pracoviště klíčové.

Na základě analýzy současného stavu výroby bylo rozhodnuto, že o robotickém pracovišti má význam uvažovat pouze u těchto tří součástí: krytu vložky, u vnitřního svaru trubky nárazníku a při svařování koše nárazníku s vodítky.

Návrh investice se skládá z několika důležitých položek. Do výpočtu je třeba zahrnout nejen roční náklady na mzdy pracovníků, ale i režijní náklady, náklady na kvalifikaci svářečů, cenu běžných spotřebních a náhradních dílů, spotřebu energií a potřebný výrobní materiál. Porovnání ročních nákladů je uvedeno v tabulce 8 a graficky zobrazeno na obrázku 27. Celkový rozdíl ročních nákladů na operaci svařování současným a robotickým svařováním představuje částku 342 600 Kč.

P.č.	ROČNÍ NÁKLADY NA VÝDAJE SPOJENÉ S OPERACÍ SVAŘOVÁNÍ VYBRANÝCH SVAŘENCŮ:	Způsob svařování:	
		Současný (ruční a poloautomatický) způsob svařování	Navrhované robotizované svařování
1.	Mzdy výrobních pracovníků [Kč]	650 800	371 660
2.	Nevýrobní režijní náklady [Kč]	74 760	40 830
3.	Náklady na svářečské kurzy [Kč]	13 760	700
4.	Spotřební a náhradní díly [Kč]	5 000	15 000
5.	Energie na výrobu [Kč]	69 420	37 920
6.	Výrobní materiál [Kč]	127 360	132 390
	NÁKLADY CELKEM [Kč]	941 100	598 500
	ROZDÍL ROČNÍCH NÁKLADŮ [Kč]	342 600	

Tabulka 8 - Porovnání ročních nákladů na operaci svařování



Obrázek 27 - Grafické porovnání ročních nákladů na operaci svařování

Pořizovací náklady na navrhované robotické pracoviště se v současné době odhadují na 6 500 000 Kč. Pokud by došlo každý rok ke stejné uspořené částce, pak by se vložené prostředky vrátily za téměř 19 let.

Položka	Údaje
Celkové předpokládané pořizovací náklady (robotizované pracoviště včetně přípravků, polohovadel, bezpečnostních prvků, odsávání,...)	6 500 000 Kč
Předpokládaná roční úspora	342 600 Kč
Předpokládaná doba návratnosti	18,98 roků

Tabulka 9 - Ekonomická návratnost robotizovaného pracoviště

6 DISKUSE DOSAŽENÝCH VÝSLEDKŮ

Na základě provedené analýzy současných svařenců a stavu jejich výroby byly vybrány tři svařence, pro které bylo navrženo robotizované pracoviště, (viz. tabulka 5). Pro některé svařence není robotické svařování vhodné, ať už z důvodu velkých výrobních tolerancí (u výkovků), nebo nízkého počtu ročně vyráběných kusů, změny technologie výroby (ze svařování na nýtování), nebo nutnosti použití přehřevu při svařování, (viz. tabulka 3 a tabulka 4).

Analýza výrobních časů ručního a robotického svařování ukázala, jak velkou část zabírají úkony spojené s manipulací, počtem rozpracovaných kusů, ustavením dílů do přípravků, ručním upínáním a přípravou na samotné svařování, (viz. obrázky 24 až 26). Při úpravě současných stehovacích a svařovacích přípravků by se daly tyto časy určitě zkrátit už nyní, bez použití robotizovaného pracoviště.

Pokud by se robotické pracoviště využívalo pouze pro vybrané svařence, a bylo by denně v provozu dvě pracovní směny, bylo by požadované množství svařenců vyrobeno za půl roku. Toto využití je velmi nízké. Vyšší vytížení robotického pracoviště by mohlo nastat v případě navýšení ročního množství vyráběných kusů, anebo v případě nových, podobných svařenců, vhodných pro robotizované svařování.

Výpočet efektivity robotizovaného pracoviště ukazuje, že doba návratnosti předpokládaných investic je nyní téměř 19 let, (viz. tabulka 9). Tato doba je příliš dlouhá. V současné době firma MSV Metal Studénka, a.s. preferuje investice do nových zařízení a technologií s návratností maximálně do 5 let.

7 ZÁVĚR

V této studii použitelnosti robotického svařování byla provedena analýza současného stavu výroby svařenců ve společnosti MSV Metal Studénka, a.s. Na základě této analýzy byly vybrány pro robotizované svařování tři svařence.

Dále bylo navrženo uspořádání robotického pracoviště pro tři vybrané svařence. Takto navržené pracoviště by mělo dva otočné stoly, a to vždy se dvěma sadami přípravků. Byl popsán i význam jednotlivých dílů robotického pracoviště.

Byly navrženy technologické postupy pro robotizované svařování vybraných svařenců. V zásadě se vždy jedná o pracoviště, jehož jedna polovina je určena pro přípravu a na druhé polovině probíhá svařování. Navrhnut byl i počet kusů na těchto pracovištích. Byl popsán současný technologický postup svařování vybraných svařenců.

Byla vyhodnocena efektivita robotizovaného svařování. Vypočtená doba návratnosti je nyní téměř 19 let. V současné době se navrhované robotizované pracoviště zřejmě neoplatí zavádět. Změna může nastat v případě velkého nedostatků kvalitních svářečů, velkého nárůstu mzdových prostředků svářečů, zvýšeného počtu vyráběných kusů, anebo příchodem dalších vhodných svařenců pro robotické svařování.

Byla provedena diskuse dosažených výsledků. Doba návratnosti investice do robotického pracoviště je velmi dlouhá, ale přesto se některé prvky z navržených robotických pracovišť mohou využít i při ručním svařování. Mám na mysli například úpravu stehovacích a svařovacích přípravků.

Seznam použité literatury

- [1] MSV Metal Studénka: *Profil společnosti* [online]. [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <http://www.msvmetal.eu/profil-spolecnosti/>
- [2] Factory Automation: *Průmyslové roboty* [online]. [cit. 2018-03-21]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/8-vyhod-svarovacich-robotu/>
- [3] MMSpektrum.com [online]. [cit. 2018-05-05]. Průřez automatizací a robotizací výrobních procesů Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prurez-automatizaci-a-robotizaci-vyrobnich-procesu.html>
- [4] AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001. ISBN 80-85771-81-0.
- [5] Automig internetový magazín: *MIG/MAG (CO2)* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/migmag-co2/>
- [6] KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie svařování*. Ústav strojírenské technologie, 1994.
- [7] SlidePlayer: *Strojírenství* [online]. [cit. 2018-05-04]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/3080120/>
- [8] CHVÁLA.B.,NEDBAL.J.,DUNAY.G. *Automatizace* Vydalo SNTL-Nakladatelství technické literatury Praha, 1989, 608 s.
- [9] KUNCIPÁL.J a KOLEKTIV AUTORŮ *Svařování pro konstruktéry a technology* Vydalo SNTL-Nakladatelství technické literatury Praha, 1980.
- [10] BLECHA, Petr a KOLEKTIV AUTORŮ *Mechatronika : Modul 10: Robotika* [online]. Brno VUT,2008 [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/6547302-Mechatronika-modul-10-robotika.html>

- [11] PLC Automatizace: *PLC - Programovatelný logický automat* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://www.plc-automatizace.cz/knihovna/plc.htm>
- [12] Hadyna: *Automatické čističky robotických svařovacích hořáků* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <http://nj-download.i0.cz/143/409487/cleaners.pdf>
- [13] Metallcon group: *Čistící jednotky robotických svařovacích hořáků* [online]. [cit. 2018-04-24]. Dostupné z: <http://www.metallkongroup.com/produkty/cistici-stanice-svarovacich-horaku/cistici-jednotky-robotickych-svarovacich-horaku/>
- [14] VAVREČKA, Jakub. Mmspektrum.com [online]. 2009 [cit. 2018-04-25]. Fakta a mýty o dotykovém vyhledávání při robotickém svařování. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/fakta-a-myty-o-dotykovem-vyhledavani-pri-robotickem-svarovani.html>
- [15] FACTRORY AUTOMATION: *Bezpečnost práce s roboty* [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: <https://factoryautomation.cz/bezpecnost-prace-s-roboty-5-veci-ktere-byste-meli-vedet/>
- [16] Valk Welding: *Panasonic TAWERS TM-series* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.valkwelding.com/cz/automatizace-svarovani/svarovaci-roboti/panasonic-tawers-tm-serie>
- [17] Fanuc: *Arc MATE 120* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://www.fanuc.eu/cz/cs/roboty/stranka-filtru-robotu/svarovani-elektricky-m-obloukem/arcmate-120>
- [18] YASKAWA: *MA2010* [online]. [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/366775/Robots/MA2010.pdf>
- [19] Výhody robotizace [online]. [cit. 2018-04-25]. Dostupné z: http://comau-robotika.cz/wp-content/uploads/2015/01/Comau_vyhody_robotizace.pdf

[20] *Přehled vlastností oceli S355J2* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10025/MOP-%20Prehled%20vlastnosti_S355J2.pdf

[21] *Přehled vlastností oceli S235JR* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: https://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10025/MOP_prehled_vlastnosti_S235JR.pdf

Poděkování

Chtěl bych tímto způsobem poděkovat svému vedoucímu práce panu Ing. Vladislavu Ochodkovi za odborné vedení, cenné rady a trpělivost při vypracování bakalářské práce. Rád bych poděkoval pracovníkům společnosti MSV Metal Studénka, a.s. za spolupráci na analýze současného stavu výroby svařenců. Děkuji také svým rodičům za podporu v průběhu mého studia.

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA A – Materiálový list oceli S355J2

PŘÍLOHA B – Materiálový list oceli S235JR

PŘÍLOHA C – Schéma krytu vložky nárazníku

PŘÍLOHA D – Schéma trubky

PŘÍLOHA E – Schéma koše nárazníku s vodítky

PŘÍLOHA A – Materiálový list oceli S355J2 [20]

Přehled vlastností oceli S355J2							1.0577	
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel							
TDP	CSN EN 10025-2: 2005							
Drívější označení	S355J2G4 podle EN 10025: 1990 +A1: 1993; St 52-3 N podle DIN 17100; 11 503 podle ČSN							
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn	Si	P	S	N
Složení hotového výrobku	≤ 16	>16≤40	>40 ¹⁾	max.	max.	max.	max.	max.
	0,20 ²⁾	0,20 ⁴⁾	0,22	1,60	0,55	0,025	0,025	-
	0,23 ⁵⁾	0,23 ⁴⁾	0,24	1,70	0,60	0,035	0,035	-
Minimální mez kluzu R _{yk} MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :								
Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru	≤16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100	>100≤150	>150≤200	>200≤250
	355	345	335	325	315	295	285	275
	Pevnost v tahu R _m MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :							
	≥ 3 ≤ 100			> 100 ≤ 150			> 150 ≤ 250	
	470-630			450-600			450-600	
	Minimální tažnost v % (L ₀ = 5.65√S ₀) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm v ⁶⁾ :							
	≥ 3 ≤ 40		> 40 ≤ 63		> 63 ≤ 100		> 100 ≤ 150	
	22		21		20		18	
	Minimální nárazová práce KV (J) při - 20°C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm ^{4) 5)} :							
	≤ 150				>150 ≤ 250			
27 ⁵⁾				27 ⁵⁾				
Pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:								
Maximální hodnota CEV ³⁾	≤ 30		> 30 ≤ 40		> 40 ≤ 150		> 150 ≤ 250	
	0,45		0,47		0,47		0,49 ⁷⁾	
Technologické vlastnosti								
Svařitelnost	Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru. Je účelné dbát doporučení, stanovující podmínky pro svařování, jak je ku příkladu uvádí ECSC IC 2 (EN 1011).							
Tváření za tepla	Jsou-li dodané výrobky dále tvářené za tepla, splňují uvedené mechanické hodnoty pouze po následném normalizačním žhání.							
Tvařitelnost za studena	Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C (S355JOC). To se týká i tažení za studena.							
¹⁾ pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm se obsah C stanoví po dohodě. ²⁾ pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm je hodnoty nutno dohodnout ³⁾ hodnota uhlíkového ekvivalentu CEV, stanovená z rozboru tavby se vypočte podle vzorce : CEV = C + Mn : 6 + (Cr+Mo+V) : 5 + (Ni+Cu) : 15 CEV je volitelný požadavek. ⁴⁾ pro jmenovitou tloušťku nad 30 mm a pro tváření za studena je obsah C max. 0,22 % resp. 0,24% v hotovém výrobku. ⁵⁾ je-li ocel určena k válcování za studena je obsah C max. 0,22% resp. 0,24% pro hotový výrobek. ⁶⁾ průměrná hodnota vypočtená výsledků tří stanovení musí splňovat předepsané požadavky. Jedna hodnota může být nižší, než předepsaná minimální hodnota za předpokladu, že nebude nižší než 70% této hodnoty. V opačném případě se odebírají ze zkušebního vzorku další 3 zkušební tělesa. Průměrná hodnota ze 6 zkoušek pak nesmí být nižší než předepsaná minimální hodnota, přičemž 2 výsledky mohou být nižší, ale pouze jeden s hodnotou nižší, než 70% předepsané minimální hodnoty. ⁷⁾ pro dlouhé výrobky max. hodnota CEV 0,54 ⁸⁾ pro podélný směr zkoušení								

PŘÍLOHA B – Materiálový list oceli S235JR [21]

Přehled vlastností oceli S235JR							1.0038	
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel							
TDP	CSN EN 10025-2: 2005							
Dřívější označení	S235JRG2 podle EN 10025: 1990 + A1: 1993; RSt 37-2 podle DIN 17100; 11 375 podle ČSN							
Chemické složení v % hmot. (rozběr tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn max.	Si max.	P max.	S max.	N max.
	≤16	>16≤40	>40 ¹⁾					
Složení hotového výrobku	0,17	0,17	0,20	1,40	-	0,035	0,035	0,012
	0,19	0,19	0,23	1,50	-	0,045	0,045	0,014
Mechanické vlastnosti pro zkoušky v podélném směru	Minimální mez kluzu R _{eH} MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :							
	≤16	>16≤40	>40≤63	>63≤80	>80≤100	>100≤150	>150≤200	>200≤250
	235	225	215	215	215	195	185	175
	Pevnost v tahu R _m MPa pro výrobky jmenovité tloušťky v mm :							
	≥ 3 ≤ 100		> 100≤150				> 150≤ 250	
	360-510		350-500				340-490	
	Minimální tažnost v % (L ₀ = 5.65√S ₀) pro výrobky jmenovité tloušťky v mm ²⁾ :							
	> 3 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 100		> 100 ≤ 150		> 150 ≤ 250	
	26	25	24		22		21	
	Minimální nárazová práce KV (J) při 20°C pro výrobky jmenovité tloušťky v mm : ^{4), 5)}							
≤150				>150≤250				
27 ⁴⁾				27 ⁴⁾				
Maximální hodnota CEV ³⁾	Pro výrobky jmenovité tloušťky v mm:							
	≤ 30		> 30 ≤ 40		> 40 ≤ 150		> 150 ≤ 250	
	0,35		0,35		0,38		0,40	
Technologické vlastnosti								
Svařitelnost	Vhodná ke svařování všemi obvykle používanými způsoby svařování. S rostoucí tloušťkou výrobku a rostoucí hodnotou uhlíkového ekvivalentu se zvyšuje riziko výskytu trhlin za studena v oblasti sváru. Je účelné dbát doporučení stanovující podmínky pro svařování, jak je ku příkladu uvádí ECSC IC 2 (EN 1011).							
Tváření za tepla	Jsou-li dodávány výrobky dále tvářeny za tepla, splňují uvedené mechanické vlastnosti pouze po následném normalizačním žitání.							
Tvařitelnost za studena	Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C (S235JRC). To se týká i tažení za studena.							

¹⁾ pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm se obsah C stanoví po dohodě.

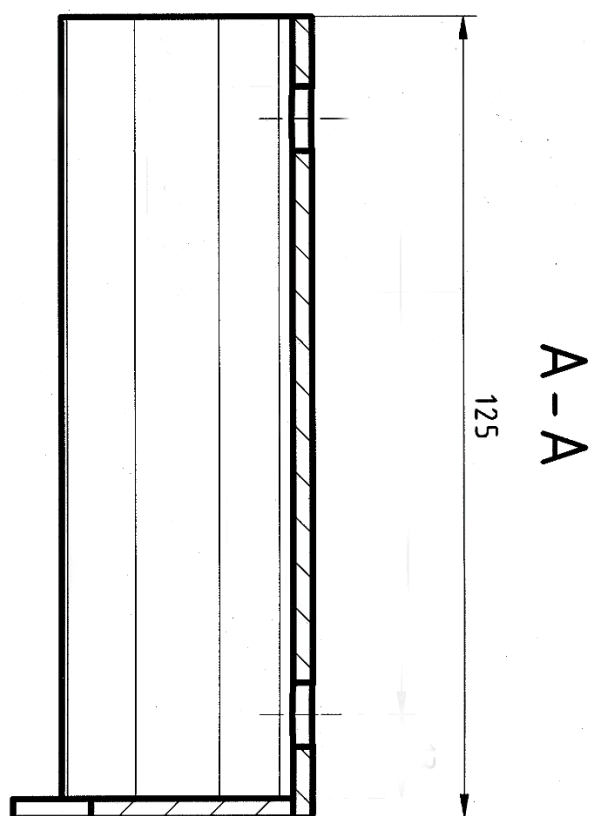
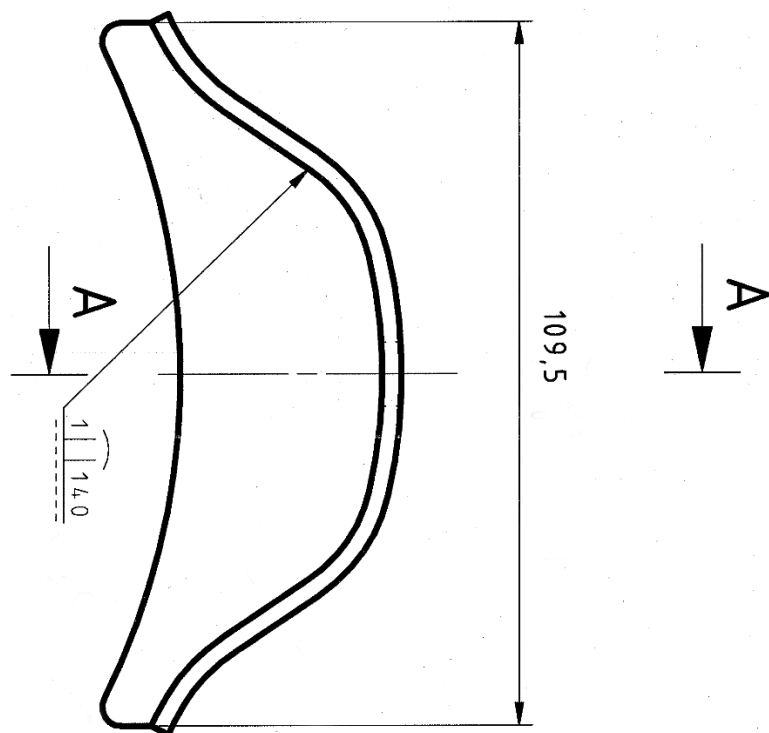
²⁾ pro profily o jmenovité tloušťce nad 100 mm je hodnoty nutno dohodnout

³⁾ hodnota uhlíkového ekvivalentu CEV se vypočte z rozboru tavby podle vzorce :
CEV = C + Mn : 6 + (Cr+Mo+V) : 5 + (Ni+Cu) : 15
CEV je volitelný požadavek.

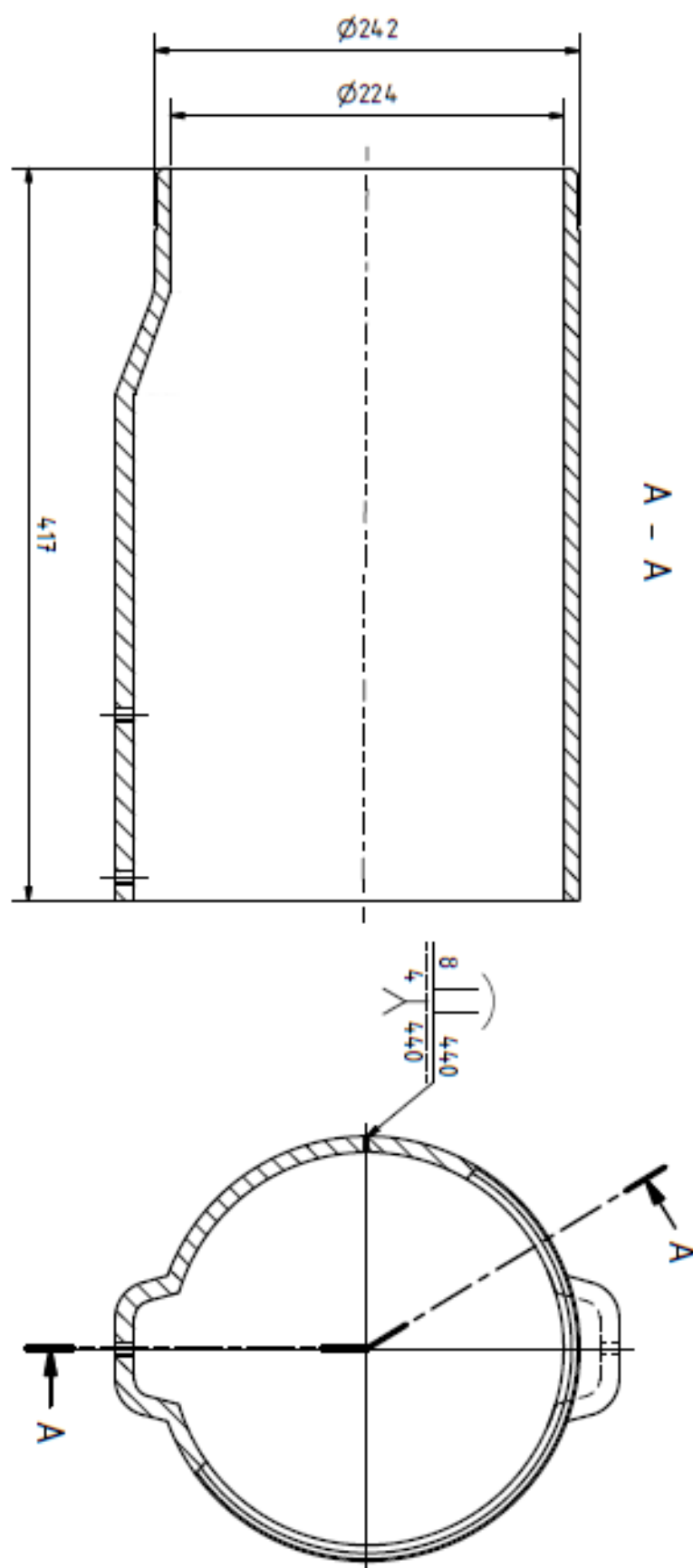
⁴⁾ průměrná hodnota vypočtená z výsledků tří stanovení musí splňovat předepsané požadavky. Jedna hodnota může být nižší, než předepsaná minimální průměrná hodnota za předpokladu, že nebude nižší než 70% této hodnoty.
V opačném případě se odebírají ze zkušební vzorku další 3 zkušební tělesa. Průměrná hodnota ze 6 zkoušek pak nesmí být nižší než předepsaná minimální hodnota, přičemž 2 výsledky mohou být nižší, ale pouze jeden s hodnotou nižší, než 70% předepsané minimální hodnoty.

⁵⁾ pro podélný směr zkoušení

Příloha C – Schéma krytu vložky nárazníku



Příloha D – Schéma trubky



Příloha E – Schéma koše nárazníku s vodítky

